

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

TIA_{1-x}M_xS₂(Se₂) (A - In, Ga; M - Dy, Er, Yb; x=0÷0,03) KRİSTALLARININ ALINMASI, ELEKTRİK VƏ OPTİK XASSƏLƏRİ

İxtisas: 2220.01 – Yarımkəçiricilər fizikası

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Kəmalə Müsəllim qızı Hüseynova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2021

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun “Kristallofizika” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Elmira Məhəmmədli qızı Kərimova

Rəsmi opponentlər: AEA-nın həqiqi üzvü, f.-r.e.d., professor
Kərim Rəhim oğlu Allahverdiyev

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Rauf Mədət oğlu Sərdarlı

Fizika üzrə elmlər doktoru, dosent
Nadir Allahverdi oğlu Abdullayev

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının AMEA Fizika İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

AMEA-nın həqiqi üzvü,
fizika–riyaziyyat elmləri doktoru, professor
_____ **Nazim Timur oğlu Məmmədov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

Fizika elmləri doktoru, dosent
_____ **Rəfiqə Zabil qızı Mehdiyeva**

Elmi seminarın sədri:

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, dosent
_____ **Tələt Rzaqulu oğlu Mehdiyev**

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi:

Nanotexnologiyanın və optoelektron texnikasının inkişafı yeni fiziki parametrlərə malik kristalların axtarışını tələb edir. Yarımkəçirici və kvant elektronikasının əldə etdiyi nailiyyətlər mürəkkəb yarımkəçirici materialların axtarışı və onlar əsasında hesablama texnikası, idarəetmə, avtomatlaşdırma vasitələri və digər istehsal sahələri üçün yararlı olan yüksək dəqiqliyə malik cihazların hazırlanması ilə bağlıdır. Yarımkəçirici kristallar içərisində xüsusi yeri laylı və zəncirvari kristallar tutur ki, bunlar kristalloqrafik oxlar boyunca fiziki xassələrinin kəskin anizotropluğuна görə fərqlənilirlər. Son illər bu maddələrin elektrik, fotoelektrik və optik xassələri və həmçinin praktik tətbiqlərində maraqlı xüsusiyyətlər aşkar edilmişdir. Lakin buna baxmayaraq, bu günə qədər onların potensial imkanları tam öyrənilməmişdir.

Üçqat TlMC_6^2 tallium xalkogenid tipli birləşmələr kvazi ikiözlü sistem olub, zəncirvari, laylı quruluşa malikdirlər. Bu sinfə məxsus birləşmələrdə onların uzunperiodlu orta nisbətli və nisbətsiz strukturları, həmçinin ardıcıl faza keçidləri müəyyən olunmuşdur. Belə kristalların tədqiqinə həsr olunmuş məqalələr çox olsa da, bunların öyrənilməsi daim aktual olaraq qalır. Bu materialların tətbiqi ilə cihazqayırma, hesablama texnikası və sənayenin başqa sahələri inkişaf etmişdir. Çoxsaylı tədqiqatlar göstərir ki, bu üçqat zəncirvari və laylı quruluşa malik kristallardan fotoelektrik çeviriciləri, spektr analizatorları, tenzorezistorları, rentgendetektorları və s. hazırlanmaq üçün istifadə olunur.

Laylı yarımkəçiricilər sinfinin genişləndirilməsi və onların əsasında yeni materialların yaradılmasının mühüm rolu vardır. Əvvəlcədən müəyyən edilmiş xassələrə malik yarımkəçirici materialların axtarışı məsələsi, həmçinin müxtəlif aşqarların bu birləşmələrə təsirinin öyrənilməsi də maraqlıdır. Bu səbəbdən əsas tərkibi $\text{TlGaS}_2(\text{Se}_2)$, $\text{TlInS}_2(\text{Se}_2)$ olan NTE-nin iştirakı ilə alınan yeni kristalların alınması, alınmış kristalların fiziki parametrlərinin daha geniş diapazonda idarə olunması baxımından böyük praktiki əhəmiyyətə malikdir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti: $TlGaS_2(Se_2)$, $TlInS_2(Se_2)$ kristalları əsasında alınmış $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$, $TlGa_{1-x}Er_xSe_2$, $TlIn_{1-x}Yb_xS_2$ ($x=0 \div 0.03$) -nin böyük ölçülü bircins bərk məhlulları və bu tipli birləşmələrdə nadir torpaq elementlərinin kiçik konsentrasiyalarında elektrik və optik xassələrinə təsiri.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri: Əsas tərkibi $TlGaS_2(Se_2)$, $TlInS_2(Se_2)$ kristalları olmaqla nadir torpaq elementlərinin (Dy, Er, Yb) iştirakı ilə kristalların alınması, onlarda cərəyanın relaksasiya mexanizminin təyini, yükdaşıyıcıların sabit və dəyişən elektrik sahəsində köçürülməsi, həmçinin kristalın tərkibinin elektrik, dielektrik və optik xassələrə təsiri mexanizmlərini müəyyənləşdirilməsidir.

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir:

- $TlA_{1-x}M_xS_2(Se_2)$ (A - In, Ga; M – Dy, Er, Yb; $x=0 \div 0.03$) sistemi xəlitələrinin fiziki-kimyəvi xassələrinin kompleks tədqiqi və sistemlərin hal diaqramlarının qurulması;

- optimal rejim seçməklə $TlA_{1-x}M_xS_2(Se_2)$ (A - In, Ga; M – Dy, Er, Yb; $x=0 \div 0.03$) sistemi bərk məhlullarının sintezi və monokristallarının yetişdirilməsi, texnoloji parametrlərinin müəyyənləşdirilməsi;

- alınan kristalların rentgenfaza (RFA), differensial-termik (DTA) analiz metodları ilə tədqiqi;

- $TlA_{1-x}M_xS_2(Se_2)$ (A - In, Ga; M – Dy, Er, Yb; $x=0 \div 0.03$) sistemi kristallarının elektrik keçiriciliyinin sabit və dəyişən elektrik sahəsində tədqiqi;

- $TlA_{1-x}M_xS_2(Se_2)$ (A - In, Ga; M – Dy, Er, Yb; $x=0 \div 0.03$) sistemi kristallarının dielektrik xassələrinin tədqiqi;

- $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0.01, 0.03$) sistemi kristallarında relaksasiya proseslərinin tədqiqi;

- $TlA_{1-x}M_xS_2(Se_2)$ (A - In, Ga; M – Dy, Er, Yb; $x=0 \div 0.03$) sistemi kristallarının optik xassələrinin tədqiqi.

Tədqiqat metodları: Tədqiq olunan bərk məhlullar stexiometrik nisbətdə götürülmüş xüsusi təmiz kimyəvi elementlərin birbaşa əridilməsi yolu ilə alınmışdır. Nümunələrin homogenliyi

differential-termik və rentgenfaza analizlərinin köməyi ilə yoxlanılmışdır. Alınan bərk məhlullardan Bridgmen-Stokbarger metodu ilə monokristallar yetişdirilmiş, nümunələrin analizi toz halında D8-ADVANCE avtodifraktometrə aparılmışdır. Elektrik ölçmələr üçün nümunələr gümüş pastalı elektrodları olan müstəvi kondensator şəklində hazırlanmışdır. Bu kristalları dəyişən elektrik sahəsində Precision LCR Meter IET Labs-dan cihazından istifadə edərək körpu və rezonans metodları vasitəsi ilə dielektrik və elektrik xassələri müəyyən edilmişdir. Sabit elektrik sahəsində VAX təyin etməklə zamandan asılı olaraq cərəyanın relaksasiyası ölçülmüşdür.

Buger-Lampert qanundan istifadə edərək (MDR-6 monoxromotoru və UTREKS azot kriostatı vasitəsi ilə) optik udulma spektrləri tədqiq edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. DTA, RFA analizləri əsasında $TlA_{1-x}M_xS_2(Se_2)$ (A - In, Ga; M (NTE) – Dy, Er, Yb) birləşmələrinin mövcudluğunun aşkar edilməsi və nadir torpaq elementlərinin bu kristalların parametrlərinə təsiri.

2. Alınmış $TlA_{1-x}M_xS_2(Se_2)$ (A - In, Ga; M– Dy, Er, Yb) kristallarında dielektrik nüfuzluğunun, dielektrik itki bucağının tangensinin nadir torpaq elementlərinin təsirindən dəyişmə qanunauyğunluqları.

3. Alınmış $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0; 0,01; 0,03$) kristallarının elektrik keçiriciliyinin sıçrayışlı xarakter daşması $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0; 0,01; 0,03$) kristallarında relaksasiya prosesləri, yükdaşınmanın estafet mexanizminə əsasən kontaktda dərin tələlərin hesabına əmələ gələn inyeksiyaya görə yaranan yüklərin effektiv yürlüklüyü, dərinlik mərkəzlərinin köçürülməsi, nümunələrin kontakt tutumu, nümunələrdə yüklərin yerləşmə oblastı, nümunədən keçən yükdaşıyıcıların keçmə vaxtı kimi fiziki parametrlərin təyini.

4. $TlA_{1-x}M_xS_2(Se_2)$ (A - In, Ga; M– Dy, Er, Yb) kristallarında 100-300 K temperatur intervalında yükdaşınmanın Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıçrayışı ilə baş verməsi.

5. $TlAs_2(Se_2)$ - $TlMS_2(Se_2)$ (A-In, Ga; M-NTE) sistemlərinin bərk məhlulları tədqiq olunaraq hal diaqramları qurulmuş və

sistemdə komponentlərin 1:1 nisbətində konqruent əriyən birləşmə əmələ gəldiyinin müəyyən edilməsi. Alınan birləşmələrin 80-300 K temperaturda udulma spektrlərini analiz etməklə düzünə və çəpinə keçidlərin fotonun enerjisi asılılığından qadağan zolağın eninin və eksiton piklərinin vəziyyətlərinin təyini.

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

1. DTA, RFA analizlər əsasında $TlGa_{1-x}Er_xS_2$ ($x=0; 0.001; 0.005, 0.01$), $TlIn_{1-x}Yb_xS_2$ ($x=0; 0.001; 0.005, 0.01$), $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0; 0.01; 0.03$) birləşmələrinin mövcudluğu aşkar edilərək qəfəs parametrləri təyin edilmişdir.

2. $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0; 0,01; 0,03$) bərk məhlulların elektrik keçiriciliyinin sıçrayışlı xarakter daşdığı müəyyən edilmişdir. $TlGaSe_2$ kristalının matrisasına disproziyum atomlarının daxil edilməsi nəzərə çarpacaq dərəcədə kompleks dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissəsinin və həmçinin sıçrayışlı keçiriciliyin parametrlərinin qiymətlərinin dəyişməsinə səbəb olur. Digər tərəfdən $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0; 0,01; 0,03$) kristallarında müxtəlif elektrik sahələrində baş verən relaksasiya cərəyanları, VAX-ın histerizisi və yüklərin yığılması estafet mexanizmi ilə yük daşınmaya uyğundur, bu kontakdan qopmuş yükdaşıyıcıların qadağan zonada yerləşməsi dərin enerji səviyyələri vasitəsilə köçürülməsinə əsaslanır.

3. $TlGaSe_2$ - $TlErSe_2$ sisteminin hal diaqramı qurulmuş və otaq temperaturunda $TlGaSe_2$ -i əsasında 6 mol %-ə qədər bərk məhlul əmələ gəldiyi müəyyən edilmişdir. 100-300 K temperatur intervalında yükdaşınma Fermi səviyyəsi yaxınlığına lokallaşmış halların sıçrayışı ilə baş verir. Temperaturun artması və Er ionları ilə aşkarlanma Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığının qiymətini artırır, energetik səpilməni ΔE azalır və lokal səviyyələrin konsentrasiyasının qiymətini dəyişir.

4. $TlInS_2$ - $TlYbS_2$, $TlInS_2$ - $TlErS_2$ sistemləri tədqiq olunaraq hal diaqramları qurulmuş və bu sistemlərdə komponentlərin 1:1 nisbətində konqruent əriyən Tl_2InYbS_4 , $TlIn_2ErS_4$ birləşmələrinin əmələ gəldiyi müəyyən olunmuşdur. 80-200 K temperaturda udulma spektrlərini analiz etməklə düzünə və çəpinə keçidlərinin fotonun enerjisindən asılılığından alınan birləşmələrin qadağan zonanın eni

təyin edilmişdir. TlInS_2 ilə müqayisədə bu birləşmələrin qadağan zonalarının eni azalmışdır.

5. TlGaS_2 - TlErS_2 sisteminin hal diaqramı qurulmuş və müəyyən olunmuşdur ki, otaq temperaturunda TlGaS_2 -i əsasında TlErS_2 4 mol %-ə, TlErS_2 -nin əsasında isə TlGaS_2 2 mol %-ə qədər həll olunur. $\text{TlGa}_{1-x}\text{Er}_x\text{S}_2$ ($x=0; 0,001; 0,005; 0,01$) bərk məhlullarının optik udulma spektrləri öyrənilmiş və müəyyən edilmişdir ki, aşağı temperaturalarda $x=0,001$ tərkibində düz keçidə məxsus eksiton əmələ gəlir və TlGaS_2 -yə nisbətən 90 meV tərtibində qırsadalğalı oblasta tərəf sürüşür.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti: Üçqat tallium xalkogenid TIMC_6^2 tipli birləşmələr kvaziikiölçülü sistem olub laylı, zəncirvari quruluşa malikdirlər və onlar əsasında NTE-nin iştirakı ilə alınan $\text{TlA}_{1-x}\text{M}_x\text{S}_2(\text{Se}_2)$ tipli kristallarda nadir torpaq elementlərinin kiçik konsentrasiyalarında elektrik və optik xassələrinin öyrənilməsi göstərdi ki, bu kristalların parametrlərini asanlıqla idarə etmək mümkün olur. Bu da cihazqayırma, hesablama texnikası və sənayenin başqa sahələrində istifadə edilə bilər. Alınmış materiallardan geniş miqyaslı spektrli optik şüalanma detektorları, spektr analizatorları, tenzorezistorları, rentgendetektorlarında aktiv element kimi istifadə etmək olar.

Aprobasiyası və təbiiqi. Dissertasiyanın nəticələri respublika və xarici elmi jurnallarda dərc olunmuş, aşağıdakı konfranslar və simpoziumlarda məruzə edilmişdir:

1. “Abstracts of 12th European Conference on Solid State Chemistry- ECSSC XII” (Germany, 2009),
2. “Научно-технический прогресс и современная авиации “ (Баку-2009),
3. “17th International Conference on Ternary and Multinary Compounds- ICTMC 17” (Baku, 2010),
4. “Fizikanın Aktual Problemləri, VI Respublika elmi konfransı” (Bakı, 2010); 5. “Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Aspirantlarının Elmi Konfransı” (Bakı 2010),
6. Труды XII-ой Международной конференции “Опто-нанoeлектроника, нанотехнологии и микросистемы” (Ульяновск, 2011),

7. “Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Doktorantlarının Elmi Konfransı” (Bakı 2011),
 8. “Nanotexnologiyalar və onların texnikada tətbiqi Beynəlxalq Konfrans” (Bakı 2011),
 9. “Труды XXII-ой Международная научно-техническая конференции, школа молодых специалистов и вставка по фотоэлектронике и приборам ночного видения.” (Москва, 2012),
 10. Международный Симпозиум “Физика кристаллов-2013” (Москва, 2013),
 11. “Book of Abstracts of 19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds ” (Niigata. Japan, 2014),
 12. Международная конференция “Фундаментальные и прикладные вопросы физики” (Ташкент 2017),
 13. Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi, Sumqayıt Dövlət Universiteti. “Tətbiqi Fizika və Energetikanın Aktual məsələləri” (Sumqayıt 2018),
 14. “Akademik H.B.Abdullayevin 100 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans və məktəb” (Bakı 2018);
 15. “Energetika ixtisasları üzrə kadr hazırlığının aktual məsələləri Respublika Elmi Konfransı (Sumqayıt 2019),
 16. “Modern Materials and Advanced Manufacturing Technology ММАМТ-2019” (Saint-Petersburg);
 17. VIII Международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» (Москва 2019),
 18. Восьмая Международная конференция “Кристаллофизика и деформационное поведение перспективных материалов” (Москва 2019),
 19. Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Актуальные проблемы физики конденсированного состояния» (Грозный 2020),
 20. Труды Международной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» (Ташкент 2020).
- Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı;**
Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun “Kristallofizika” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın strukturu və həcmi. İşin mövzusunə aid respublika və xarici elmi jurnallarda 32 elmi əsər: 12 məqalə, 20 konfrans və simpozium materiallarında nəşr olunmuşdur.

Dissertasiya işi – 172410 işarədən; girişdən, dörd fəsildən, nəticədən və istinad edilmiş ədəbiyyatdan ibarətdir. Giriş - 35732 simvol, I fəsil -48074 simvol, II fəsil 26391 simvol, III fəsil 36166 simvol, IV fəsil 21556 simvol, nəticələr 4491 simvol təşkil edir. İş 188 səhifədə şərh olunmuşdur və işdə 65 şəkil, 22 cədvəl vardır. İstinad olunmuş ədəbiyyat siyahısına 148 adda iş, o cümlədən müəllifin şəxsi məqalələri daxildir.

İŞİN MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya işinin mövzusunun aktualığı əsaslandırılmış, görülən işin obyektı və predmeti, məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti göstərilmişdir, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, aprobeasiya dərəcəsi, struktur bölmələrinin həcmi barədə məlumat verilmişdir.

Dissertasiya işinin **I fəslində** tallium əsaslı laylı və zəncirvari quruluşlu xalkogenidlərin və bu qrup birləşmələr əsasında alınan kristalların elektrofiziki və optik xassələrinə və $A^3B^3C^6_2 - A^3B^3C^6_2$ tipli sistemlərdə kimyəvi qarşılıqlı təsirə aid ədəbiyyat materialları toplanaraq təhlil edilmişdir.

Dissertasiya işinin **II fəslində** $TlA_{1-x}M_xS_2(Se_2)$ (A - In, Ga; M – Dy, Er, Yb) sistemlərinin sintezi və monokristallarının yetişdirilməsi metodu şərh olunmuş, fiziki - kimyəvi və fiziki xassələrin tədqiqi metodikası təsvir olunmuşdur.

İşdə $TlInSe_2-TlYbSe_2$ və $TlInS_2-TlErS_2$ sistemlərində baş verən kimyəvi qarşılıqlı təsiri diferensial termik (DTA), rentgenfaza (RFA) analiz metodları ilə tədqiq olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, otaq temperaturunda $TlInSe_2$ əsasında 12 mol % $TlYbSe_2$ -nin bərk məhlulu yaranır. Nonvariant evtektik nöqtə $(TlInSe_2)_{0,75}(TlYbSe_2)_{0,25}$ tərkibə və 1175 K temperatura uyğun gəlir. $TlInSe_2-TlYbSe_2$ sistemində komponentlərin 1:1 nisbətində

$Tl_2InYbSe_4$ birləşməsi əmələ gəlir¹. Bu birləşmənin parametrləri $a=8.14\text{Å}$, $c=6.72\text{Å}$, olan tetraqonal sinqoniyada kristallaşır. Alınan bərk məhlulda $TlInSe_2$ -nin kristallik qəfəsində 3 valentli In ionları radiusu böyük olan Yb ionları ilə əvəz olunur.

$TlGaSe_2$ - $TlErSe_2$ və $TlGaS_2$ - $TlErS_2$ sistemlərinin DT, RF, MS tədqiqatları əsasında faza tarazlığı öyrənilmişdir. $TlGaSe_2$ - $TlErSe_2$ sistemində nonvariant evtektik nöqtə $(TlGaSe_2)_{0,85}(TlErSe_2)_{0,15}$ tərkibə və 950K temperatúra uyğun gəlir. Evtektik temperaturda $TlGaSe_2$ -nin əsasında $TlErSe_2$ 10 mol %-ə qədər həll olunur. Otaq temperaturunda isə $TlGaSe_2$ -nin əsasında $TlErSe_2$ -nin həll olması 6 mol % təşkil edir. Müəyyən edilmişdir ki, otaq temperaturunda $TlGaSe_2$ -nin əsasında 6 mol %-ə qədər bərk məhlul əmələ gəlir. Rentgenoqrafik tədqiqatlardan $TlGaSe_2<Er>$ monokristallarının monoklin quruluşa malik olduğu müəyyən edilmişdir və qəfəs parametrləri üçün aşağıdakı qiymətlər alınmışdır: $a=10,744$, $b=10,773\text{Å}$, $c=15,623\text{Å}$, $\beta=100,04^\circ$, $z=16$. Göstərilmişdir ki, Er aşqarının kiçik miqdarda olması qəfəs parametrlərinə təsir göstərmir.

$TlInSe_2$ - $TlErSe_2$ sisteminin hal diaqramı qurulmuşdur və müəyyən edilmişdir ki, $TlInSe_2$ - $TlErSe_2$ sistemi komponentlərin 1:1 nisbətində $Tl_2InErSe_4$ birləşməsi əmələ gəlir və konqruent əriməsi 1270 K temperatúra təsadüf edir. Verilmiş birləşmə üçün homogenlik oblast yoxdur. Nonvariant peritektik nöqtə $(TlInSe_2)_{0,74}(TlErSe_2)_{0,26}$ tərkibli maddəyə uyğun olur və temperatur 1110 K-ə bərabər olur. Otaq temperaturunda $TlInSe_2$ ərintisində 10 mol % $TlErSe_2$ həll olduğu müəyyən edilmişdir. Rentgenfaza analizi ilə hər bir tərkibin fərdiliyi təyin edilmişdir. Difraktometrlə aparılan hesablamalar göstərdi ki, In-in (0,001, 0,005, 0,01) Er ilə əvəzlənməsi $TlIn_{1-x}Er_xSe_2$ -in kristal quruluşunda nəzərə çarpacaq dəyişiklik əmələ gətirmir.

$TlGaSe_2$ - $TlDySe_2$ sisteminin rentgenfaza analizi ilə hər bir tərkibin fərdiliyi təyin edilmişdir. Difraktometrik tədqiqatlar göstərdi

¹ Seidov, F.M. Investigation of the Interaction of $TlInSe_2$ with $TlYbSe_2$ and the electrical properties of $Tl_2InYbSe_4$ crystals / F.M.Seidov, E.M.Kerimova, N.Z. Gasanov [et al.] // GESJ: Physics, -2019. No.2(22), ISSN 1512-1461, p.12-17.

ki, Ga-nin (0.01, 0.02, 0.03) Dy ilə əvəzlənməsi $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ -in kristallik strukturunda nəzərə çarpacaq dəyişiklik əmələ gətirmir.

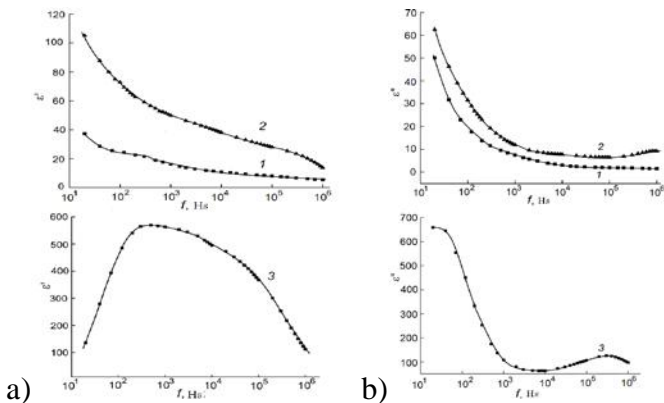
Bundan başqa bu fəsilə elektrik, dielektrik və optik xassələrini tədqiq etmək üçün qurğuların sxemi və onların işlənmə prinsipi verilmişdir.

Dissertasiyanın **III fəslində** $TlA_{1-x}M_xS_2$ (A - In, Ga; M (NTE)– Dy, Er, Yb) monokristallarının elektrikkeçiriciliyinin tezlik və temperatur asılılıqları və dielektrik xassələrinin tədqiqi verilmişdir. Həmçinin bu kristalların sabit elektrik sahəsində relaksasiya prosesləri təsvir olunmuşdur. Ədəbiyyatdan məlumdur ki, $TlGaSe_2$ və $TlInS_2$ monokristalları laylı quruluşlu olub, fiziki xassələri kəskin anizotropiyaya malik olduğundan müxtəlif yarımkeçirici cihazlarda aktiv element kimi istifadə edilə bilər. Belə ki, $TlGaSe_2$ kristalının geniş tədqiq olunmasına baxmayaraq tərkibində nadir torpaq elementi olan $TlGaSe_2$ nümunələri az öyrənilmişdir. Bu deyilənlərə əsasən nadir torpaq elementləri ilə Gamu əvəzlənmiş $TlGaSe_2$ kristalının fiziki xassələri dəyişməsinə gözləmək olar.

$TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0; 0,01; 0,03$) bərk məhlullarında Dy konsentrasiyasının artmasının dielektrik xarakteristikasına təsiri və dəyişən elektrik sahəsində köçürmə mexanizminin radiotezlik diapazonunda təsir mexanizmi öyrənilmişdir. $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0; 0,01; 0,03$) nümunələrin kompleks dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin (ϵ') tezlikdən asılılığı tədqiq olunmuşdur (şəkil 1,a).

Göstərilmişdir ki, $TlGaSe_2$ və $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0.01$) nümunələri üçün bütün ölçülən tezlik diapazonunda dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin (ϵ') qiymətində azalma müşahidə olunur. $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0.03$) nümunəsində isə 20-500 Hs tezlik intervalında ϵ' artır, sonra isə kəskin olaraq tezliyin 1 Mhs qiymətinə qədər azalır. Kristallarda Dy artması dielektrik nüfuzluğunun (ϵ') həqiqi hissəsinin qiymətini nəzərə çarpacaq dərəcədə artırır.

$TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ bərk məhlullarında kompleks dielektrik nüfuzluğunun xəyalı hissəsinin (ϵ'') tezlikdən asılılığı (şəkil 1,b) həmçinin relaksasiya xarakteri daşdığı müəyyən edilmişdir.



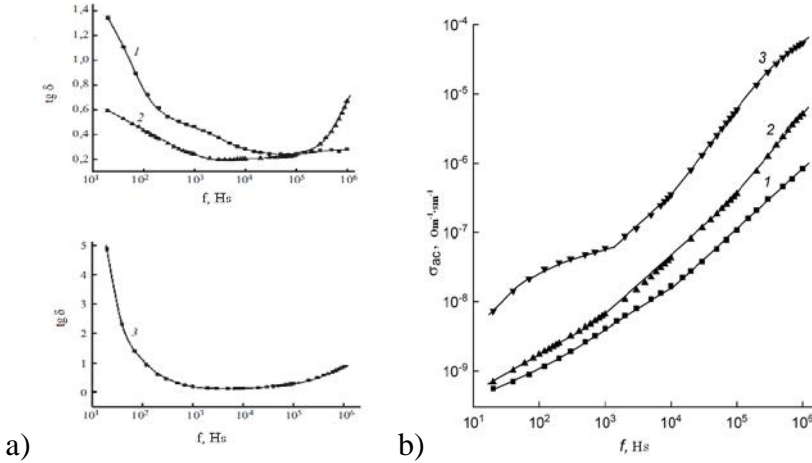
Şəkil 1. $T = 298$ K temperaturda $\text{TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ $x = 0$ (1); 0.01 (2) və 0.03 (3) kristalların dielektrik nüfuzluğunun həqiqi (a) və xəyali (b) hissəsinin tezlikdən asılılığı.

Bu asılılıq hiperbolik azalma ilə xarakterizə olunur, bu da keçiriciliyin itgisi ilə əlaqədardır. Yüksək tezliklərdə dielektrik itgi bucağının tangensinin ($\text{tg}\delta$) qiymətinin artması tendensiyaya malik olur ki, bu da relaksasiya itgilərin olmasını göstərir. TlGaSe_2 kristalına Dy atomunun daxil olması nəzərə çarpacaq dərəcədə artımına səbəb olur (şəkil 2,a).

İşdə biz tərəfdən həmçinin $\text{TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,01; 0,03$) bərk məhlullarının ac-keçiriciliyinin tezlikdən asılılığı öyrənilmişdir² (şəkil 2,b). $\text{TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ bərk məhlulları üçün σ_{ac} qiyməti TlGaSe_2 kristalına nisbətən daha yüksək olur. TlGaSe_2 kristalı üçün $\sigma_{ac}(f)$ asılılığında 2 hissə müşahidə olundu. Birinci halda $\sigma_{ac} \sim f^{0.6}$ asılılığı müşahidə edilirdi daha sonra isə ($f \geq 10^4$) $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$ qanunu ilə artırdı. $\text{TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ bərk məhlulları üçün isə $\sigma_{ac}(f)$ asılılığında üç hissə müşahidə edilirdi. Əvvəlcə $\sigma_{ac} \sim f^{0.5-0.6}$ hansı ki, sonradan $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$ əvəz olunurdu. Tezliyin qiymətinin 1 MHzs -ə qədər artmasıyla $\sigma_{ac} \sim f^{1,2}$ superxətti hissə ilə əvəz olunurdu.

² Mustafaeva, S.N., Guseynova, K.M., Asadov, M.M. Dielectric parameters of $(1-x)\text{TlGaSe}_2 \cdot x\text{Dy}$ single crystals in AC electric fields // Metal Science and Heat Treatment, -2020. V.62, No 1-2, -p.30-34.

Beləliklə göstərilmişdir ki, keçiriciliyin $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$ qanununa tabe olması yükdaşıyıcıların Fermi səviyyəsi yaxınlığında sıçrayışla yerdəyişməsinə göstərir.



Şəkil 2. $T = 298$ K temperaturda $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ $x = 0$ (1), 0.01 (2) və 0.03 (3) kristallarının dielektrik itgi bucağının tangensinin tezlikdən asılılığı (a), keçiriciliyin tezlikdən asılılığı (b).

$TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0; 0,01; 0,03$) bərk məhlullarının Mott yaxınlaşması çərcivəsində parametrləri hesablanmışdır. $\sigma_{ac}(f)$ -in təcrübədən tapılan qiymətlərində $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0; 0,01; 0,03$) bərk məhlullar üçün Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallar sıxlığı (N_F) Mott nəzəriyyəsinə əsasən hesablanmışdır (Cədvəl 1). $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0; 0,01; 0,03$) bərk məhlullarında Dy-nin konsentrasiyası artdıqca Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallar sıxlığı artır. $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0; 0,01; 0,03$) bərk məhlullarında sıçrayışlı keçiricilik nəzəriyyəsinə görə sıçrayışlar arası məsafənin (R) qiyməti təxminən 8-9 dəfə lokallaşmış yükdaşıyıcılar arasındakı orta məsafədən çoxdur. $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0; 0,01; 0,03$) bərk məhlullarında Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış energetik səviyyələrin sıxlıq dəyişmələri

qiymətləndirilmişdir³ və göstərilmişdir ki, Dy konsentrasiyası artdıqca $\text{TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,01; 0,03$) bərk məhlullarının energetik yayılmasını ΔE daraldır, Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığı artır, orta məsafə və sərf olan zaman çoxalır. Beləliklə müəyyən edilmişdir ki, Dy-nin TlGaSe_2 kristalının matrisasına daxil edilməsi onun fiziki xassələrini modifikasiya edir.

Cədvəl 1.

$\text{TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,01; 0,03$) bərk məhlullarının Mott yaxınlaşması çərçivəsində hesablanmış parametrləri.

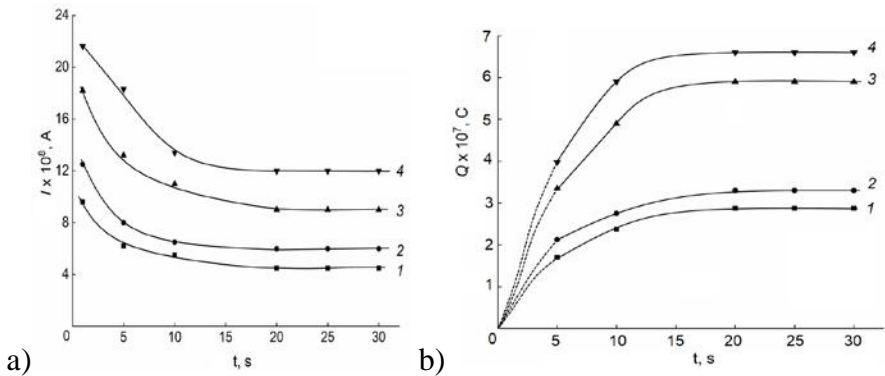
$\text{TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$	Δf , hs	N_F , 10^{18} $\text{eV}^{-1}\text{sm}^{-3}$	τ , s	R , Å	ΔE , eV
$x = 0$	10^4-10^6	1.98	10^{-6}	234	1.9×10^{-2}
$x = 0.01$	10^3-10^5	2.97	10^{-5}	273	8×10^{-3}
$x = 0.03$	10^3-10^4	7.14	10^{-4}	312	2.2×10^{-3}

$\text{TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ ($x=0,01; 0,03$) laylı monokristallarının relaksasiya hadisələri öyrənilmişdir və $\text{Ag-TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2\text{-Ag}$ sistemində nümunədə cərəyan axınının mexanizmi aydınlaşdırılmışdır. Sabit elektrik sahəsində $T=85$ K temperaturda $\text{TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ kristalında əhəmiyyətli dərəcədə akkumulyasiya olunmuş yüklərin hesabına relaksasiya proseslərinin baş verdiyi müəyyən edilmişdir. Gərginliyin 100-250 V intervalında cərəyan zamandan asılı olaraq azalır (şəkil 3,a), sonra stasionar hala çatır. Bu da histerezis əyrisi ilə müşahidə olunur.

$\text{Ag-TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2\text{-Ag}$ ($x=0,01; 0,03$) nümunələrinin VAX-1 verilmişdir. Burada iki sahə müşahidə olunmuşdur: $J \sim F$ və $J \sim F^2$ - xətti və kvadratik oblast. Buna səbəb yüklərin yığılması hesabına cərəyan relaksasiyasının azalmasıdır. Xarici elektrik gərginliyini yox

³ Mustafayeva, S.N., Huseynova, K.M., Asadov, M.M. Frequency and temperature dependences of the physical properties of $(1-x)\text{TlGaSe}_2 \cdot x\text{Dy}$ solid solutions // Applied Solid State Chemistry, -2018. № 2, -p. 59 – 64.

etdikdə və kontaktları qısa qapadıqda dövrədə xarici gərginliyin axımının əksinə boşalma cərəyanı keçir. Buradan da yığılmış yüklərin miqdarı hesablanmış (şəkil 3, b). Kontakt tutumu bilərək yığılan yükün qalınlığı təyin edilmişdir. Müxtəlif elektrik sahələrində baş verən relaksasiya cərəyanları, VAX-ın histerezisi və yüklərin yığılması yük daşınmanın estafet mexanizminə uyğundur, haradakı bu kontaktlardan qopmuş yükdaşıyıcıların qadağan olunmuş zonada yerləşən dərin energetik səviyyələr vasitəsilə keçiriciliyinə əsaslanır.



Şəkil 3. a) Ag–TlGa_{0.99}Dy_{0.01}Se₂–Ag monokristallarında qaranlıq cərəyan relaksasiyası, b) yığılan yüklərin zamandan asılılıq qrafiki. L=10 mkm, U, V: 1 – 100; 2 – 150; 3 – 200; 4 – 250. T = 85 K.

Öyrənilən kristallarda axan elektron prosesləri xarakterizə edən fiziki parametrlər təyin olunmuşdur⁴.

$$\mu_f = \frac{L^3 I_c}{U^2 C_c d_c} ; \quad \tau = \frac{L^3}{\mu_f d_c U} ; \quad t_t = \frac{\tau \cdot d_c}{L}$$

Bu düsturlar vasitəsi ilə 85 K temperaturda TlGa_{0.99}Dy_{0.01}Se₂ üçün effektiv yürüklüyü $\mu_f = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ sm}^2/\text{Vsan}$, TlGa_{0.97}Dy_{0.03}Se₂

⁴ Мустафаева, С.Н., Гусейнова, К.М., Асадов, М.М. Релаксация тока в монокристаллах TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ (x=0.01; 0.03) // ФТТ, -2020. т.62, в.7, -с.1022-1027.

üçün isə $\mu_f=8,8 \cdot 10^{-8}$ sm²/Vsan olur. Nümunənin kontakt tutumu $C_c=2,4 \cdot 10^{-9}$ F, kristalda yüklərin yığılma oblastı $d_c=6,7 \cdot 10^{-5}$ sm, kontaktın yüklənmə sabiti $\tau=5,5$ san, yüklərin nümunədən keçmə müddəti $t_f=0,37$ s olduğu müəyyən edilmişdir.

TlGa_{1-x}Er_xS₂ (x=0; 0,001; 0,005; 0,01) bərk məhlullarının rezonans metodu ilə dielektrik və elektrik keçiriciliyi öyrənilmişdir. TlGa_{1-x}Er_xS₂ (x=0; 0,001; 0,005; 0,01) bərk məhlullarının otaq temperaturunda dielektrik nüfuzluğunun tezlikdən asılılığı öyrənilmişdir, ölçmə sahəsinin tezliyi artdıqca dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin (ϵ') qiymətində azalma müşahidə olunur. TlGa_{1-x}Er_xS₂ (x=0; 0,001; 0,005; 0,01) bərk məhlullarının tədqiq edilən bütün kompleks dielektrik nüfuzluğunun (ϵ') həqiqi hissəsi tədqiq edilən bütün tezliklərdə zəif dispersiya xarakterlidir.

TlGa_{1-x}Er_xS₂ (x=0; 0,001; 0,005; 0,01) bərk məhlullarında kation əvəzləməsinin dərəcəsi artdıqca ϵ' qiyməti azalır. Buna səbəb Ga³⁺ (1.81Å) ilə müqayisədə Er³⁺ (1.24Å) aşağı elektromənfiliyi səbəbi ilə Ga³⁺ kation sahəsindəki Er³⁺ əvəz etmə kristalın polyarizasiyasını azalmasıdır. Bu, Er atomlarının TlGa₂ qəfəsindəki Ga₄S₁₀ layları arasında Van-der Vaals boşluqlarda yerləşməsi ilə əlaqəlidir.

TlGa_{1-x}Er_xS₂ x=0 və 0.001 qiymətlərində müqayisəli analizdən dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsindən (ϵ') fərqli olaraq, xəyali hissəsinin (ϵ'') və dielektrik itgi bucağının tangensinin qiymətlərinin təxminən bir tərtib dəyişdiyi görünür və $5 \times 10^4 \div 3.5 \times 10^7$ Hz tezliklərdə əhəmiyyətli dərəcədə dielektrik dispersiyası müşahidə olunur. TlGa_{1-x}Er_xS₂ bərk məhlullarında Er-un miqdarının artması $f = 5 \times 10^4$ Hz tezlikdə dielektrik xüsusiyyətlərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir: TlGa₂ kristalında $f = 5 \times 10^4$ Hz tezlikdə $\epsilon' \sim 23.5$ və TlGa_{0,99}Er_{0,01}S₂ bərk məhlulunda isə $\epsilon' \sim 3.6$. Başqa sözlə, Er-un miqdarının artması ilə ϵ' təxminən 6.5 dəfə azalır, $\tau \delta$ isə 0.017÷0.184 intervalında artır. TlGa_{1-x}Er_xS₂ (x=0; 0,001; 0,005; 0,01) bərk məhlullarında Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığının qiyməti $N_F=5,9 \cdot 10^{18} \div 1,1 \cdot 10^{19} \text{eV}^{-1} \text{sm}^{-3}$, bir lokallaşmış haldan başqasına keçid vaxtının orta qiyməti $\tau=5 \cdot 10^{-8} \div 10^{-7} \text{s}$ təşkil edirdi, lokallaşmış hallar arasında sıçrayışın müddəti $R=77 \div 81 \text{ \AA}$, lokallaşmış halların energetik səpilməsi $\Delta E=0,11 \div 0,15 \text{ eV}$ və ac-keçiriciliyinə məsul olan

lokallaşmış halların konsentrasiyası $N_l = 8.8 \times 10^{17} \div 1 \times 10^{18} \text{ sm}^{-3}$ qiymətlərini alınmışdır.

TlGa_{1-x}Er_xSe₂ (x=0, 0.001, 0.005, 0.05, 0.01) bərk məhlulların dielektrik xassələri və dəyişən elektrik sahəsində yük daşıma prosesi öyrənilmişdir. Bütün ölçülən tezlik diapazonunda (ϵ) tədqiq olunan nümunələr üçün azalma müşahidə olunmuşdur. TlGa_{1-x}Er_xSe₂ (x=0; 0,001; 0,005; 0,05, 0,01) kristallarında isə tezlik artması ilə 20÷500 Hs intervalında ϵ artır, sonra isə kəskin olaraq tezliyin 1 Mhs qiymətinə qədər azalır. Kristallarda Er-un artması dielektrik nüfuzluğunun (ϵ) həqiqi hissəsinin qiymətini nəzərə çarpacaq dərəcədə artırır.

Dissertasiyanın üçüncü fəsilində həmçinin TlGa_{1-x}Er_xSe₂ (x=0; 0,005) bərk məhlullarının dielektrik xassələri 150-300 K temperatur intervalında müxtəlif tezliklərdə tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, TlGa_{0,995}Er_{0,005}Se₂ bərk məhlulu üçün dielektrik nüfuzluluğunun (ϵ) qiyməti temperatur artdıqca artır. TlGa_{0,995}Er_{0,005}Se₂ bərk məhlulunda dielektrik nüfuzluğunda olduğu kimi elektrikkeçiriciliyinin qiyməti də temperatur artdıqca artır. Elektrik keçiriciliyinin mütləq qiyməti ölçü sahəsinin tezliyindən asılıdır ki, bu da aşağı temperaturlarda daha kəskin görünür. Elektrik keçiriciliyinin qiyməti tezlik artdıqca bir neçə tərtib artır. Aşağı temperaturlarda keçiricilik praktik olaraq temperaturdan asılı olmur. Yüksək temperatur oblastında keçiricilik $\sigma \sim e^{1/T}$ qanunu ilə eksponensial artır. Bu onu göstərir ki, yüksək temperaturlarda elektrik keçiriciliyi əsas yükdaşıyıcıların konsentrasiyasından asılı olur. TlGa_{0,995}Er_{0,005}Se₂ bərk məhlulunun dielektrik itgi bucağının tangensinin qiymətləri TlGaSe₂ kristalı ilə müqayisədə temperatur artdıqca artır. Bu artımı sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması ilə əlaqələndirmək olar.

Müəyyən edilmişdir ki, tezliyin artması ilə TlGa_{1-x}Er_xSe₂ bərk məhlullarının dielektrik nüfuzluğunun qiyməti azalır. Tədqiq olunan bərk məhlullarda dielektrik nüfuzluğunun belə gedişi kiçik tezliklərdə relaksasiya polyarizasiyasının olması ilə əlaqədardır və aşağı tezliklərdə dielektrik itgisi əmələ gətirir. Dielektrik itgi bucağının $\text{tg}\delta(T)$ əyrilərində yarımkəçiricilərə məxsus maksimumlar görünür və ölçü sahəsinin tezliyinin 1 kHs –dən 1Mhs-ə qədər artması zamanı

maksimum bir qədər yayılır. Hansı ki, bu maksimumlar dielektrik nüfuzluğunun qiymətinin kəskin artdığı temperatur oblastında yerləşir.

$TiGa_{1-x}Er_xSe_2$ ($x=0; 0,005$) bərk məhlullarının müxtəlif temperaturalarda kompleks dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin (ϵ') tezlikdən asılılığında $TiGaSe_2$ və $TiGa_{0,995}Er_{0,005}Se_2$ kristalları üçün azalma müşahidə olunur. Temperaturun artması və həmçinin Er ilə aşqarlanma dielektrik nüfuzluğunun (ϵ') həqiqi hissəsinin qiymətini nəzərə çarpacaq dərəcədə artırır.

$TiGa_{1-x}Er_xSe_2$ ($x=0; 0,005$) kristallarının ac-keçiriciliyinin tezlikdən asılılığı tədqiq edilmişdir. $TiGa_{0,995}Er_{0,005}Se_2$ bərk məhlulu üçün σ_{ac} qiyməti $TiGaSe_2$ kristalı ilə müqayisədə daha yüksək olur. $TiGa_{1-x}Er_xSe_2$ ($x=0; 0,005$) bərk məhlulun $\sigma_{ac}(f)$ asılılıq əyrilərində üç hissə müşahidə olunur: birinci halda $\sigma_{ac} \sim f^{0.6}$ müşahidə edilirdi, daha sonra isə $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$ ($10^2 \div 10^4$ Hs-də) qanunu ilə artırdı. Tezliyin qiymətinin 1 MHS-ə qədər artdıqda isə $\sigma_{ac} \sim f^{1,2}$ qədər əvəz olunurdu. Biz tərəfdən alınan $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$ qanuna tabe olması Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallar üzrə sıçrayışlı keçiriciliyin baş verməsini göstərir.

Tezliyin 10^2 - 10^4 Hs intervalında tədqiq olunan kristallarda $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$ asılılığı müşahidə edilir. $TiGa_{1-x}Er_xSe_2$ ($x=0; 0,005$) bərk məhlulları üçün Mott nəzəriyyəsinə əsasən Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallar sıxlığı (N_F), sıçrayışın uzunluğu (R), Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların energetik səpilməsini ΔE hesablanmışdır⁵. Temperaturun artması və erbium ilə aşqarlanma Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığını artırır, energetik səpilməni ΔE daraldır, və lokal səviyyələrin konsentrasiyasının qiymətini dəyişir. Beləliklə, müəyyən edilmişdir ki, $TiGaSe_2$ kristalına erbium daxil edəndə onun fiziki xassələri modifikasiya olunur.

⁵Hüseynova, K.M. $TiGa_{1-x}Er_xSe_2$ ($x=0; 0,005$) kristallarının elektrik və dielektrik xarakteristikaları // AMEA Xəbərlər, fizika və astronomiya, -2019. cild XXXIX, №5. -S.155-159.

Bu fəsilədə həmçinin TlErSe₂ monokristalının elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığının tədqiqi nəticələri verilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, temperaturun 111 K-dən otaq temperaturuna qədər artması TlErSe₂ kristalının keçiriciliyinin ≈ 5 tərtib artmasına gətirib çıxarır. TlErSe₂ monokristalının elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı müxtəlif nümunələr üçün aparılmışdır. Temperatur artdıqca elektrik keçiriciliyinin qiyməti artır və TlErSe₂ kristalı üçün $\sigma(T)$ yarımkəçirici xarakter daşıyır. Yüksək temperaturda elektrik keçiriciliyinin eksponensial artması səbəbi məxsusi keçiriciliyin yaranması ilə bağlıdır. TlErSe₂ kristalının qadağan olunmuş zonasının eni $\lg\sigma=f(10^3/T)$ əyrilərin mailliyindən təyin edilmişdir və $E_g = 1,40\text{eV}$ alınmışdır.

Disertasiyanın **IV fəslində** TlA_{1-x}M_xS₂ (A - In, Ga; M – Dy, Yb, Er) monokristallarının optik xassələrinin tədqiqinin nəticələri verilmişdir.

İşdə TlGaSe₂-TlErSe₂ sistemi əsasında alınan bərk məhlulların optik xassələrinin tədqiqinin nəticələri verilmişdir. 77-300K temperatur intervalında TlGa_{1-x}Er_xSe₂ (x=0; 0,001) bərk məhlulun qadağan zonanın temperaturdan asılılığı tədqiq edilmişdir. TlGa_{1-x}Er_xSe₂ (x=0; 0,001) bərk məhlulun udulma spektrlərini analiz etməklə, $(\alpha\hbar\omega)^2$ -nin (α -udulma əmsalı) fotonun enerjisindən ($\hbar\omega$) asılılığından düz keçidlərin enerjisi təyin edilmiş və ardıcıl olaraq bu kristalların qadağan zonasının eni (E_g) hesablanmışdır. TlGaSe₂ və TlGa_{0,999}Er_{0,001}Se₂ kristallarının udulma sərhədinin müqayisəsindən müəyyən edilmişdir ki, aşağı temperaturalarda TlGa_{0,999}Er_{0,001}Se₂ bərk məhlulunda düz keçid sərhədinin yaxınlığında eksiton zolağı müşahidə olunmuşdur. 77-140K temperatur intervalında TlGaSe₂ kristalının qadağan olunmuş zonasının temperatur əmsalı ($-3,1 \cdot 10^{-4}\text{eV/K}$) təşkil edir, TlGa_{0,999}Er_{0,001}Se₂ bərk məhlulu üçün bu qiymət ($-6,1 \cdot 10^{-4}\text{eV/K}$) iki dəfə fərqlidir; TlGa_{1-x}Er_xSe₂ bərk məhlullarının udulma əmsalının qiyməti TlGaSe₂ müqayisədə hiss ediləcək dərəcədə böyükdür.

TlGa_{1-x}Er_xSe₂ (x=0; 0,001) bərk məhlullarında 140-300K temperatur intervalında $dE_g/dT=2,1 \cdot 10^{-4}\text{eV/K}$ təşkil edir. Qadağan olunmuş zonanın uzun dalğalı oblasta doğru sürüşməsi TlGaSe₂-yə nisbətən TlGa_{0,999}Er_{0,001}Se₂ bərk məhlulunda 60 meV təşkil edir. 77K

temperaturda $TlGaSe_2$ kristalı üçün qadağan olunmuş zonanın eni $E_g=2,192$ eV, $TlGa_{0,999}Er_{0,001}Se_2$ bərk məhlulu üçün isə $E_g=2,132$ eV təşkil edir. Belə nəticəyə gəlmək olar ki, $TlGaSe_2$ monokristalında Ga atomlarını 0,001 % Er atomları ilə əvəz etdikdə qadağan zonasının eni azalır.

Bu fəsilə həmçinin $TlGa_{1-x}Er_xS_2$ ($x=0; 0,001; 0,005; 0,01$) kristallarının optik udulma spektrləri öyrənilmişdir.

Məlumdur ki, $TlGaS_2$ monokristalının udulma sərhədi $180\div 200K$ temperatura qədər düz eksiton zolağı ilə formalaşır. Bundan başqa, $TlGaS_2$ yarımkeçiricilərdə az təsadüf olunan qadağan olunmuş zonanın temperatur əmsalı müsbət işarəyə malikdir. Bütün bunlar $TlGaS_2$ yarımkeçirici birləşməsi əsasında alınmış $TlGa_{1-x}Er_xS_2$ ($x=0\div 0,01$) bərk məhlullarının optik udulma sərhədinin öyrənilməsinə maraq yaratmışdır. Tədqiqatlar göstərir ki, $TlGa_{1-x}Er_xS_2$ ($x=0; 0,001; 0,005; 0,01$) bərk məhlullarının udulma sərhədinin strukturunda müxtəliflik aşkar olunur: aşağı temperaturalarda $x=0,001$ qiymətində düz keçidə məxsus eksitonun əmələ gəlməsi ilə udulma spektri müşahidə olunur; $TlGa_{0,995}Er_{0,005}S_2$ və $TlGa_{0,99}Er_{0,01}S_2$ kristallarında isə bu müşahidə olunmur.

Biz tərəfdən həmçinin $TlGa_{0,999}Er_{0,001}S_2$ tərkibi üçün temperaturun $77\div 200K$ intervalında eksiton pikinin vəziyyəti tədqiq edilmişdir. Verilmiş tərkib üçün eksiton zolağının maksimumunun temperatur əmsalının müsbət işarəsi saxlanılıb və əgər nəzərə alsaq ki, eksitonun əlaqə enerjisi temperaturdan çox zəif asılıdır, onda belə qənaətə gəlmək olar ki, $TlGa_{0,999}Er_{0,001}S_2$ birləşmənin qadağan olunmuş zonasının eni temperatur artdıqca artır. Qeyd etmək lazımdır ki, eksiton pikinin qısdalğalı oblasta doğru yerdəyişməsi $TlGaS_2$ monokristalında Ga atomunun nadir torpaq elementi olan Er atomları ilə 0,1% əvəz olunması hesabına böyük qiymətə çatır ki, bu da 90 meV təşkil edir. Bu zaman eksiton pikinin temperatur əmsalı nəzərə çarpacaq dərəcədə artır ($TlGaS_2$ üçün $1,9\cdot 10^{-4}$ eV/K, $TlGa_{0,999}Er_{0,001}S_2$ üçün isə $3,1\cdot 10^{-4}$ eV/K-dur).

$TlIn_{1-x}Er_xS_2$ ($x=0; 0,001; 0,005; 0,01$) bərk məhlullarının da optik xassələrinin tədqiqinin nəticələri verilmişdir⁶. Göstərilmişdir ki, $TlInS_2$ və $TlIn_{1-x}Er_xS_2$ ($x=0,001; 0,005; 0,01$) monokristallarının udulma sərhədləri oxşardı və eksitonun əmələ gəlməsi ilə düz keçidlərlə formalaşırlar. Göstərilmişdir ki, erbium atomlarının konsentrasiyası keçidlərin energetik vəziyyətinə təsir göstərir. Belə ki, $T=120K$ -də $TlIn_{0,99}Er_{0,01}S_2$ üçün ($n=1$) -ə uyğun eksiton piki $TlInS_2$ -ə nəzərən kiçik enerjili oblasta doğru $25meV$ yerini dəyişmişdir. $120K$ -də optik udulma əmsalı (α) -nın fotonların enerjisindən asılılığından bərk məhlul üçün qadağan zonanın eni qanunauyğun olaraq müəyyən edilmişdir. Udulma əmsalının temperaturdan asılılığı $80-200K$ intervalında öyrənilməsi göstərdi ki, bütün öyrənilən tərkib üçün temperaturun artması ilə eksiton piki uzundalğalı oblasta doğru yerini dəyişir. $TlIn_{1-x}Er_xS_2$ monokristalının eksiton zolağına uyğun maksimumunun temperaturdan asılılığından göstərilmişdir ki, $200K$ -dən yuxarı eksiton piki pilləyə çevrilir və sonra yoxa çıxdı. $TlInS_2$ kristalında qadağan olunmuş zonanın orta temperatur yerdəyişməsi $80-240 K$ intervalında $\partial Eg / \partial T = 5,6 \cdot 10^{-4} eV / K$ təşkil edirdi. Nəticədə $TlInS_2$ kristalında indium atomlarının erbium atomları ilə əvəz olunması səbəbindən temperatur əmsalı qismən azalır, məsələn $TlIn_{0,99}Er_{0,01}S_2$ üçün $\partial Eg / \partial T = 5,4 \cdot 10^{-4} eV / K$ olmuşdur.

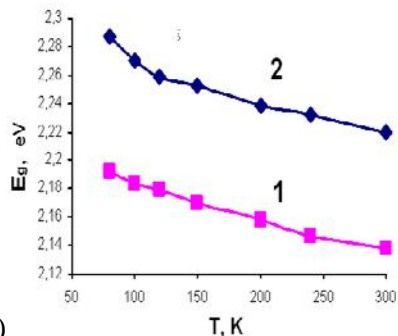
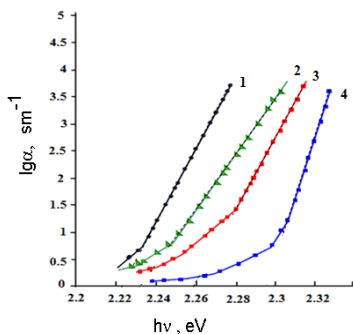
$TlIn_{1-x}Yb_xS_2$ ($x=0; 0,001; 0,005; 0,01$) bərk məhlullarının $77\div 300K$ temperatur intervalında optik udulma spektrinin, tədqiqinin nəticələri bu fəsilə verilmişdir. Göstərilmişdir ki, temperaturun azalması ilə udulma sərhədi yüksək enerji tərəfə sürüşür və temperaturun $77\div 200 K$ intervalında məxsusi udulma sərhədində elektronların birbaşa eksiton səviyyələrinə keçidi ilə əlaqədar udulma zolağı müşahidə olunur. Eksiton piklərinin enerjisi təyin edilmiş və bunun əsasında $77\div 200K$ temperatur intervalında eksitonun

⁶Gasnov, N.Z., Kerimova, E.M., Seidov, F.M., Asadov, Yu.G., Huseynova, K.M. $TlIn_{1-x}Er_xS_2$ ($x=0; 0,01$) Solid Solutions and Their Optical Properties // Book of Abstracts of 19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (ICTMC-19). Niigata. Japan. September 1-5, -2014, P1-003, P.76.

sürüşməsinin temperatur əmsalı hesablanmışdır. Bu əmsal TlInS_2 kristalında müşahidə olunduğu kimi mənfi işarəlidir. TlInS_2 kristalında In ionlarının nadir torpaq elementi olan Yb ionları ilə əvəz olunması nəticəsində eksiton pikinin sürüşməsinin temperatur əmsalı əsas kristal matrisası ilə müqayisədə dəyişir: belə ki, $77 \div 200\text{K}$ intervalında TlInS_2 kristalı üçün $dE^{\text{ek}}/dT = -5,1 \cdot 10^{-4} \text{eV/K}$ təşkil etdiyi halda $\text{TlIn}_{0,995}\text{Yb}_{0,005}\text{S}_2$ bərk məhlulu üçün isə $dE^{\text{ek}}/dT = -2,0 \cdot 10^{-4} \text{eV/K}$ qiymətinə malikdir ki, bu da nəzərə çarpacaq dərəcədə azdır. $\text{TlIn}_{0,995}\text{Yb}_{0,005}\text{S}_2$ bərk məhlulunun qadağan zonanın eni TlInS_2 kristalı ilə müqayisədə 50meV tərtibində azalmışdır: 77K -də TlInS_2 kristalı üçün $E_g = 2,590 \text{eV}$ təşkil etdiyi halda, $\text{TlIn}_{0,995}\text{Yb}_{0,005}\text{S}_2$ bərk məhlulu üçün bu qiymət $2,540 \text{eV}$ təşkil edir⁷. Nəzərə alsaq ki, eksitonun əlaqə enerjisi cüzi dəyişir, lakin In atomlarını nadir torpaq elementi olan Yb atomları ilə $0,5\%$ əvəz olunması nəticədə qadağan zonanın enini nəzərə çarpacaq dərəcədə azaldır.

Həmçinin bu fəsildə $\text{TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,01$) bərk məhlullarının optik xassələrinin $77-300\text{K}$ temperatur intervalında tədqiqinin nəticələri verilmişdir. TlGaSe_2 və $\text{TlGa}_{0,99}\text{Dy}_{0,01}\text{Se}_2$ monokristalları üçün $(\alpha h\nu)^2$ düşən süanın enerjisindən $(h\nu)$ asılılıq əyrisindən düz xəttli hissəsinin ekstrapolyasiya vasitəsilə qadağan zonanın eni (E_g) tapılmışdır (şəkil 4, a). Aşağı temperaturlarda $\text{TlGa}_{0,99}\text{Dy}_{0,01}\text{Se}_2$ bərk məhlulunda udma sərhədi yaxınlığında eksitonun əmələ gəlməsi müşahidə olunmur. $80 \div 120\text{K}$ intervalında temperatur əmsalı dE_g/dT TlGaSe_2 kristalı üçün $\approx -3 \cdot 10^{-4} \text{eV/K}$, $\text{TlGa}_{0,99}\text{Dy}_{0,01}\text{Se}_2$ bərk məhlulu üçün isə $\approx -7 \cdot 10^{-4} \text{eV/K}$ -dir, yəni təxminən 2 dəfə fərqlənir. $\text{TlGa}_{0,99}\text{Dy}_{0,01}\text{Se}_2$ bərk məhlulu üçün qadağan zonanın eninin qısa dalğa tərəfə yerdəyişməsi TlGaSe_2 kristalına nəzərən təxminən 90meV təşkil edir.

⁷Hüseynova, K.M. TlInS_2 - TlYbS_2 sisteminin fiziki-kimyəvi analizi $\text{TlIn}_{1-x}\text{Yb}_x\text{S}_2$ monokristallarının alınması və optik xassələr // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Aspirantlarının Elmi Konfransı, Bakı: – 2010. -s. 23-26.



a)

b)

Şəkil 4. a) TlGa_{0,99}Dy_{0,01}Se₂ bərk məhlulu üçün müxtəlif temperaturlarda udma əmsalının fotonun enerjisindən asılılığı. 1- T=300 K, 2- T=240 K, 3-180 K, 4- T=83 K. b) TlGaSe₂ (1) və TlGa_{0,99}Dy_{0,01}Se₂ (2) kristallarının qadağan olunmuş zonasının temperatur asılılığı.

Belə ki, 80 K temperaturda TlGaSe₂ kristalı üçün $E_g = 2,192$ eV olduğu halda, TlGa_{0,99}Dy_{0,01}Se₂ bərk məhlulu üçün isə $E_g = 2,287$ eV olur. Müəyyən edilmişdir ki, TlGaSe₂ kristalında 1-2% gallium atomlarının Dy atomları ilə əvəz edilməsi nəzərə çarpacaq dərəcədə qadağan zonanın enini artırır (şəkil 4, b).

Nəticə

1. DT, RF və MS analizləri əsasında TlDySe₂, TlErSe₂, TlYbS₂, birləşmələrinin mövcudluğu aşkar olunmuş TlGaSe₂-TlErSe₂, TlGaSe₂-TlDySe₂, TlInS₂-TlYbS₂ sistemlərinin sintez olunaraq hal diaqramı qurulmuş, fiziki-kimyəvi analizlər edilmişdir. Bricmen-Stokbarger metodu ilə TlGa_{1-x}Dy_xSe₂, TlGa_{1-x}Er_xSe₂, TlIn_{1-x}Yb_xS₂ (x=0; 0,01; 0,03) -nın böyük ölçülü bircins bərk məhlulları yetişdirilmiş və onların qəfəs parametrləri təyin edilmişdir.

2. TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ (x=0; 0,01; 0,03) bərk məhlullarının $f=20-10^6$ Hz tezlik intervalında dielektrik əmsalı və keçiriciliyinin tərkibdən asılı olaraq dəyişməsindən müəyyən edilmişdir ki, elektrikkeçiriciliyi sıçrayışlı xarakter daşıyır. TlGaSe₂ kristalının matrisasına Dy-nin daxil edilməsi kompleks dielektrik nüfuzluğunun

həqiqi və xəyali hissəsinin nəzərə çarpacaq dərəcədə dəyişməsinə, Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığının qiymətinin artmasına $(1.98-7.14) \times 10^{18} \text{ eV}^{-1} \text{ sm}^{-3}$, sıçrayışların orta məsafəsinin (234–312 Å) və sıçrayışlar arası zamanın (10^{-6} - 10^{-4}) s artmasına səbəb olur.

3. $\text{TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,01; 0,03$) bərk məhlullarında relaksasiya hadisələri öyrənilərək $\text{Ag-TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2\text{-Ag}$ sistem nümunələrin cərəyan axınının mexanizmi aydınlaşdırılmış, $T=85 \text{ K}$ -də sabit elektrik sahəsində $\text{TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ kristalında əhəmiyyətli dərəcədə akkumulyasiya olunmuş yüklər hesabına relaksasiya proseslərinin baş verdiyi müəyyən edilmişdir. $\text{TlGa}_{(1-x)}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ -də müxtəlif elektrik sahələrində relaksasiya cərəyanları, VAX-ın histerezisi və kristalda gedən elektron proseslərini xarakterizə edən fiziki parametrlər təyin olunmuşdur: 85 K temperaturda dərin mərkəzlər vasitəsilə daşınan yükün effektiv yüyürlüyü $\text{TlGa}_{0,99}\text{Dy}_{0,01}\text{Se}_2$ üçün $\mu_f=2,7 \cdot 10^{-8} \text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, $\text{TlGa}_{0,97}\text{Dy}_{0,03}\text{Se}_2$ üçün isə $\mu_f=8,8 \cdot 10^{-8} \text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ olur. Nümunənin kontakt tutumu $C_c=2,4 \cdot 10^{-9} \text{ F}$, kristalda yüklərin yığılma oblastı $d_c=6,7 \cdot 10^{-5} \text{ sm}$, kontaktın yüklənmə sabiti $\tau=5.5 \text{ s}$, yüklərin nümunədən keçmə müddəti $t_f=0,37 \text{ s}$ olduğu müəyyən edilmişdir.

4. $\text{TlGa}_{1-x}\text{Er}_x\text{S}_2$ ($x=0; 0,001; 0,005; 0,01$) bərk məhlullarının $f=20 \cdot 10^6 \text{ Hz}$ tezlik intervalında dielektrik əmsalının və keçiriciliyinin tərkibdən asılı olaraq dəyişməsindən müəyyən edilmişdir ki, tezliyin $f = 5 \times 10^4 \text{ Hz}$ qiymətində Er-un miqdarı dielektrik xüsusiyyətlərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir: belə ki, dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin qiyməti (ϵ') təxminən 6.5 dəfə azalır, dielektrik itgi bucağının tangensinin ($\text{tg}\delta$) qiyməti isə 0.017-dən 0.184 -ə qədər artır.

5. $\text{TlGa}_{1-x}\text{Er}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,001; 0,005; 0,05; 0,01$) bərk məhlullarında 100-300 K temperatur intervalında yükdaşınma Fermi səviyyəsi yaxınlığına lokallaşmış halların sıçrayışı ilə baş verir. Temperaturun artması və Er ionları ilə aşqarlanma Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığının (N_F) qiymətini artırır, energetik səpilməni (ΔE) daraldır, və lokal səviyyələrin konsentrasiyasının (N_l) qiymətini dəyişir. TlGaSe_2 kristalına erbium daxil edəndə onun fiziki xassələri modifikasiya olunur (25). TlGa_{1-}

$x\text{Er}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,001$) bərk məhlullarının 77-300K temperatur intervalında udulma spektrlərini analiz etməklə düzünə və çəpinə keçidlərin fotonun enerjisindən asılılığından qadağan olunmuş zolağın eninin qiyməti müəyyən edilmişdir. Tədqiq olunan TlGaSe_2 kristalında Ga atomlarını Er atomları ilə əvəz etdikdə monokristalının qadağan zonanın eni azalır.

6. $\text{TlGa}_{1-x}\text{Er}_x\text{S}_2$ ($x=0; 0,001; 0,005; 0,01$) bərk məhlullarının optik udulma spektrlərinin analizindən müəyyən edilmişdir ki, aşağı temperaturalarda $x=0,001$ tərkibində düz keçidə məxsus eksiton əmələ gəlir. Bu zaman $\partial E_{\text{eks}} / \partial T$ temperatur əmsalı TlGaS_2 -də olduğu kimi müsbət işarəsini saxlayır. Amma eksiton pikinin qısdaldığı oblasta doğru yerdəyişməsi baş verir. Bu da TlGaS_2 monokristalında Ga atomunun nadir torpaq elementi olan Er atomları ilə əvəz olunması hesabınadır.

7. $\text{TlIn}_{1-x}\text{Yb}_x\text{S}_2$, $\text{TlIn}_{1-x}\text{Er}_x\text{S}_2$ ($x=0; 0,001; 0,005; 0,01$) bərk məhlullarının 77-300K temperaturda udulma spektrlərini analiz etməklə düzünə və çəpinə keçidlərinin fotonun enerjisinin asılılığından qadağan zolağın eninin qiyməti müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, temperatur azaldıqca udulma sərhədi yüksək enerji tərəfə sürüşür və temperaturun 77÷200K hissəsində məxsusi udulma sərhədində elektronların birbaşa eksiton səviyyələrinə keçidi ilə əlaqədar udulma zolağı müşahidə olunur. $\text{TlIn}_{0,995}\text{Yb}_{0,005}\text{S}_2$ birləşməsinin qadağan zonanın eni TlInS_2 ilə müqayisədə 50meV tərtibində azalmışdır. Bu isə o deməkdir ki, TlInS_2 -də In-Yb, Er əvəzləməsində zona quruluşunda struktur dəyişməsi baş verir .

8. $\text{TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,01$) kristallarının 77÷300K temperatur intervalında udulma spektrlərini analiz etməklə düzünə və çəpinə keçidlərin fotonun enerjisindən asılılığından qadağan olunmuş zolağın eninin qiyməti müəyyən edilmişdir. TlGaSe_2 kristalında $E_g = 2,192$ eV olduğu halda $\text{TlGa}_{0,99}\text{Dy}_{0,01}\text{Se}_2$ bərk məhlulunda 2,287eV olur. Yəni 1-2% gallium atomlarının Dy atomları ilə əvəz edilməsi TlGaSe_2 kristalı üçün nəzərə çarpacaq dərəcədə qadağan zonanın enini artırır.

Dissertasiya mövzusu üzrə çap olunmuş elmi işlər

1. Kerimova, E.M., Mustafayeva, S.N., İsmailzade, L.A., Seidov, F. M., Guseinova, K.M. Interaction of TlSe with LnSe (Ln=Sm, Pr,Yb) and properties of TlLnSe₂ crystals // Abstracts of 12th European Conference on Solid State Chemistry- ECSSC XII. Münster, -Germany: -20-23 September, -2009. –p. 106.
2. Пашаев, А.М., Сеидов, Ф.М., Керимова, Э.М., Бидзинова, С.М., Гусейнова, К.М. Взаимодействие TlSe-YbSe и тепловые свойства тройных монокристаллов TlYbS₂ (Se₂, Te₂) // Научно-технический прогресс и современная авиации посвященной 75-летию академика А. М Пашаева. -Баку: -2009. Том I, -с. 272-275
3. Kerimova, E.M., Gasanov, N.Z., Gasanov, A.I., Huseynova, K.M. Effect of substitution Ga and In atoms by Yb on physical properties of TlGa(In)S₂ layered crystals// 17th International Conference on Ternary and Multinary Compounds. ICTMC 17. Baku: -27-30 September, -2010. – p.37.
4. Kərimova, E.M., Mustafayeva, S.N., Həsənov, N.Z., Həsənov, A.İ., Hüseynova, K.M. TlGaSe₂(Te₂)-TlErSe₂(Te₂) tip anizotrop yarımkeçiricilərin kristallofizikası // Nanotexnologiyalar və onların texnikada tətbiqi Beynəlxalq Konfransın materialları, -Bakı: -2011, -15-16 dekabr, -s. 180-186.
5. Hüseynova, K.M. TlInS₂-TlYbS₂ sisteminin fiziki-kimyəvi analizi TlIn_{1-x}Yb_xS₂ monokristallarının alınması və optik xassələr // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Aspirantlarının Elmi Konfransı, Bakı: – 2010. -s. 23-26.
6. Kərimova, E.M., Mustafayeva, S.N., Həsənov, N.Z., Həsənov, A.İ., Hüseynova, K.M., Əhmədova, G.M. TlGaSe₂-TlErSe₂(Te₂) əsasında alınan birləşmələrin fiziki xassələri // Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi Bakı Dövlət Universiteti Fizika Fakültəsi “Fizikanın Aktual Problemləri” VI Respublika Elmi Konfransı. -Bakı:- 20 noyabr, -2010. -s. 42-43.

7. Сеидов, Ф.М. Изучение фазовых равновесий в системе TlSe-ErSe и транспортные свойства соединения TlErSe₂ / Ф.М. Сеидов, Э.М. Керимова, Н.З. Гасанов, К.М. Гусейнова [и др.] // Изв. НАН. Азерб., -2011. XXXI, № 2, -с.131-134.
8. Мустафаева, С.Н., Керимова, Э.М., Гасанов, Н.З., Гасанов, А.Н., Гусейнова, К.М. Диэлектрические и оптические свойства монокристаллов TlGa_{1-x}Er_xSe₂. / Труды XII – ой Международной конференции “Опто–наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы”. Ульяновск-2011, -19-26 сентября, -с.88-90
9. Hüseynova, K.M. Yeni TlGaSe₂-TlErSe₂ sisteminin fiziki xassələri // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Doktorantlarının Elmi Konfransı, Bakı: -2011. -s. 15-19.
10. Kərimova, E.M. TlInS₂ və TlGaSe₂ birləşmələrində In və Ga atomlarının Dy atomlarla qismən əvəz edilməsinin onların fiziki xassələrinə təsiri / E.M. Kərimova, N.Z. Həsənov, A.İ. Həsənov, K.M. Hüseynova [və b.] // Fizika, -2012. cild XVIII, №2, section: Az. -s.36-38.
11. Керимова, Э.М., Гасанов, Н.З., Гасанов, А.И., Гусейнова, К.М. Получение твердых растворов TlIn_{1-x}Dy_xS₂ и исследование их фотопроводимости // Труды XXII-ой Международная научно-технической конференция, школа молодых специалистов и выставка по фотоэлектронике и приборам ночного видения. ФГУП «НПО «Орион». Москва, Россия 22-25 мая,- 2012. -С.254-255.
12. Керимова, Э.М., Мустафаева, С.Н., Гасанов, Н.З., Асадов, Ю.Г., Гусейнова, К.М. Получение, кристаллическая структура и физические свойства твердых растворов TlGa_{1-x}Er_xS₂ // Тезисы Межд. Симпозиума Физика кристаллов-2013, -Москва: октябрь-ноябрь, -2013. - С.99.
13. Gasanov, N.Z., Kerimova, E.M., Seidov, F.M., Asadov, Yu.G., Huseynova, K.M. TlIn_{1-x}Er_xS₂ (x=0; 0,01) Solid Solutions and Their Optical Properties // Book of Abstracts of 19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (ICTMC-19). Niigata. Japan. September 1-5, -2014, P1-003, P.76.

14. Сеидов, Ф.М. Изучение фазовых равновесий в системе $TlSe-YbSe$, электрические и магнитные свойства кристалла $TlYbSe_2$ / Ф.М.Сеидов, Э.М.Керимова, Р.З.Садыхов, К.М. Гусейнова [и др] // Изв.НАН. Азерб., - 2015. cild XXXV, № 5, -s. 61-65.
15. Гасанов, Н.З. Рентгенографический анализ и край оптического поглощения твердых растворов $TlIn_{1-x}Er_xS_2$ ($x=0-0,01$) / Н.З. Гасанов, Э.М. Керимова, Ф.М. Сеидов, К.М. Гусейнова [и др.] // Изв.НАН. Азерб., -2015. cild XXXV, , -s.77-81.
16. Керимова, Э.М., Гасанов, Н.З., Гусейнова, К.М., Ализаде, Ш.Д.. Кристаллическая структура и фотопроводимость твердых растворов $TlIn_{1-x}Dy_xS_2$ // Международной конференции “Фундаментальные и прикладные вопросы физики”, Ташкент-2017, -13-14 июня, -с.54-55.
17. Керимова, Э.М. Изучение фазовых равновесий в системе $TlSe-TmSe$ и электрические свойства с кристаллов $TlTmSe_2$ / Э.М.Керимова, Ф.М. Сеидов, Н.З Гасанов, К.М. Гусейнова [и др.] // Изв.НАН. Азерб., -2018, cild XXXVIII, № 2, -s.109-112.
18. Керимова, Э.М., Гасанов, Н.З., Сеидов, Ф.М., Гусейнова, К.М., Ализаде, Ш.Д. Исследование электрические и оптических свойств системы $TlGaSe_2-TlTmSe_2$ // Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi Sumqayıt Dövlət Universiteti. Tətbiqi Fizika və Energetikanın Aktual məsələləri. Beynəlxalq Elmi Konfransının materialları. 24-25 may 2018, s.96-99.
19. Гусейнова, К.М., Гасанов, Н.З., Керимова, Э.М. Край оптического поглощения монокристаллов $TlGaSe_2 <Dy>$./ Akademik H.B.Abdullayevin 100 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans və məktəb. Modern Trends in Condensed Matter Physics” (MTCMP-2018). -Baku:-24–26 Sept, -p. 62.
20. Mustafayeva, S.N., Huseynova, K.M., Asadov, M.M. Frequency and temperature dependences of the physical properties of $(1-x)TlGaSe_2 \cdot xDy$ solid solutions // Applied Solid State Chemistry, -2018. № 2, -p. 59 – 64.

21. Мустафаева, С.Н., Гусейнова, К.М. Комплексная диэлектрическая проницаемость и параметры локализованных состояний в твердых растворах $(1-x)\text{TlGaSe}_2 \cdot x\text{Dy}$ / Energetika üzrə kadr hazırlığının aktual məsələləri Respublika Elmi Konfransının Materialları, - Sumqayıt: -30-31 may, -2019, -s. 150-152
22. Hüseynova, K.M. $\text{TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ bərk məhlullarının elektrik və optik xassələri // Fizika, -2019. cild XXV, №2, section: Az. - s.57-59.
23. Mustafayeva, S.N., Huseynova, K.M., Asadov, M.M. Effect of composition of Solid Solutions $(1-x)\text{TlGaSe}_2 \cdot x\text{Dy}$ on their Dielectric parameters // Современные материалы и передовые производственные технологии (СМПТТ-2019), -Санкт-Петербург: -25-28 июня, -2019, -с.125-126.
24. Hüseynova, K.M. $\text{TlGa}_{1-x}\text{Er}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,005$) kristallarının elektrik və dielektrik xarakteristikaları // АМЕА Хəbərlər, fizika və astronomiya, -2019. cild XXXIX, №5. -S.155-159.
25. Сеидов, Ф. М. Диаграмма состояния системы TlInSe_2 – TlTmSe_2 , электрические и тепловые свойства кристаллов $\text{Tl}_2\text{InTmSe}_4$ / Ф. М.Сеидов, Э. М.Керимова, Р. Г. Велиев, Н.З.Гасанов, К.М.Гусейнова // Неорганические материалы, 2019, том 55, № 8, с. 813–817.
26. Мустафаева, С.Н., Гусейнова, К.М., Асадов, М.М. Релаксационные процессы в монокристаллах $\text{TlGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ // VIII Международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов», (Сборник материалов. – М: ИМЕТ РАН) -Москва: -19-22 ноября, - 2019, - с. 860.
27. Керимова, Е.М., Гасанов, Н.З., Гусейнова, К.М. Получение и оптические свойства кристаллов $\text{TlGa}_{1-x}\text{Tm}_x\text{S}_2$ // Восьмая Международная конференция «Кристаллофизика и деформационное поведение перспективных материалов », -Москва: -5-8 ноября, -2019 , -с. 116
28. Seidov, F.M. Investigation of the Interaction of TlInSe_2 with TlYbSe_2 and the electrical properties of $\text{Tl}_2\text{InYbSe}_4$ crystals / F.M.Seidov, E.M.Kerimova, N.Z. Gasanov, R.G.Veliyev,

- К.М. Huseynova, // GESJ: Physics, -2019. No.2(22), ISSN 1512-1461, p.12-17.
29. Керимова, Э.М., Гасанов, Н.З., Гусейнова, К.М. Фотоэлектрические свойства кристаллов системы $TlGaSe_2-TlTmSe_2$ // Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Актуальные проблемы физики конденсированного состояния» посвященная 100-летию ГНТУ. -Грозный, -16-18 октября, -2019, -с. 111-114.
 30. Мустафаева, С.Н., Гусейнова, К.М., Асадов, М.М. Релаксация тока в монокристаллах $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ ($x=0.01; 0.03$) // ФТТ, -2020. т.62, в.7, -с.1022-1027.
 31. Mustafaeva, S.N., Guseynova, K.M., Asadov, M.M. Dielectric parameters of $(1-x)TlGaSe_2 \cdot xDy$ single crystals in AC electric fields // Metal Science and Heat Treatment, -2020. V.62, No 1-2, -p.30-34.
 32. Керимова, Э., Сеидов, Ф., Гасанов, Н., Гусейнова, К., Хахвердиева, З.Е. Физико-химический анализ системы $TlGaS_2-TlTmS_2$ и оптические свойства твердых растворов $TlGa_{1-x}Tm_xS_2$ ($x=0; 0,001; 0,005; 0,01; 0,02$). // «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», Труды Международной конференции, -Ташкент: -22-23 сентября, -2020,-с. 63-65.

Dissertasiyanın müdafiəsi _____ 2021-ci il tarixində saat _____ AMEA Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED1.14 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ-1143, H. Cavid prospekti 131.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları AMEA-nın Fizika İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat _____ 2021-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 06.09. 2021

Kağızın formatı: A5

Həcm: 38229

Tiraj: 100